



Digitales Potentiometer mit Drehimpulsgeber DP 1

Drehimpulsgeber sind in der heutigen Welt der Digitaltechnik ein probates Mittel, analoge Eingabegeräte, sprich Potentiometer, zu ersetzen. Mit unserer kleinen, einfach nachbaubaren Schaltung simulieren wir mit einem Drehimpulsgeber die Funktionsweise eines vielfältig einsetzbaren Potentiometers. Der momentane Widerstandswert wird bei jeder Betätigung in einem internen EEPROM gespeichert, so dass auch nach dem Abschalten der eingestellte Wert erhalten bleibt und wie beim „Analog-Potentiometer“ beim Wiedereinschalten sofort zur Verfügung steht.

Digital gestellt

Das klassische Lautstärkepoti findet man nur noch in Konsumergeräten der unteren Preisklasse, oder bei Highend-Geräten, wobei hier natürlich auch nur sehr hochwertige Potis verwendet werden. Um diese hochwertigen Geräte fernbedienbar zu machen, bedient man sich noch heute aufwändiger Motorantriebe (Abbildung 1 zeigt den sich drehenden Lautstärkeeinsteller eines hochwertigen Receivers), die z. B. den großen Lautstärkesteller solange in eine Richtung verstellen, wie die entspre-

chende Richtungstaste auf der Fernbedienung gedrückt wird.

Allgemein verdrängt worden sind die elektromechanischen Potentiometer durch so genannte Drehimpulsgeber, auch Inkrementalgeber genannt (Abbildung 2 zeigt verschiedene Ausführungen). Der Name entstammt dem englischen „incremental“, was „schrittweise (zunehmend)“, „stufenweise“ oder technisch bezogen „(gerasterte) Sollwertvorgabe“ bedeutet. Bei Betätigung solcher Bedienelemente werden bei jeder Drehbewegung Impulse erzeugt, die dann in der Regel von einem Mikrocontroller ausgewertet und an die elektroni-

Technische Daten: DP 1

Spannungsversorgung: 5 VDC $\pm 10\%$
 Stromaufnahme: max. 3 mA
 Datenerhalt: 100 Jahre
 Analogeingangsspannung: ± 5 V
 gegenüber GND
 Frequenzgang: 0 bis 2 MHz (-3dB)
 Schleiferstrom: max. 1 mA
 Auflösung: 100 Stufen
 Widerstandswerte: 1 k Ω – X9C102
 10 k Ω – X9C103
 50 k Ω – X9C503
 100 k Ω – X9C104
 Abmessungen: 65 x 38 mm



Bild 1: Per Fernsteuerung befehligt, mechanisch gedreht – motorisch angetriebener Lautstärkeinsteller einer hochwertigen HiFi-Anlage. Deutlich ist in der Zeitaufnahme die ausgelöste Drehbewegung am Weg der roten Markierung zu erkennen.

schen Bausteine, die z. B. für die Lautstärkeinstellung zuständig sind, weitergeleitet werden. Der Mikrokontroller erkennt, in welche Richtung und wie weit gedreht wurde. Mit dieser Information kann man nicht nur die Lautstärke verändern, son-

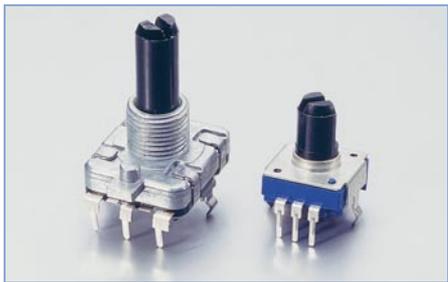


Bild 2: Verschiedene Drehimpulsgeber für unterschiedliche Einsatzbereiche

dern auch andere Funktionen, wie z. B. die Titelauswahl bei einem CD-Player oder die Frequenz eines Tuners, realisieren. Bei einigen Geräten erfolgt die komplette Menüsteuerung über multifunktionale Drehimpulsgeber, die zusätzlich über weitere Schaltfunktionen verfügen, die über das „Drücken“ oder „Bewegen“ (Schwenken in eine seitliche Richtung) des Drehknopfes erfolgen. Besitzer einiger ELV-Haustechnik- oder Messgeräte, Werkzeugma-

cher/Dreher oder Besitzer von neueren Audi- oder BMW-Fahrzeugen oder Fahrzeug-Navigationsgeräten kennen solche „Dreh-/Drück-Geber“ schon lange.

Die Vorteile solcher Bedienelemente liegen auf der Hand. Als Potentiometer-Ersatz arbeiten sie je nach Ausführung nahezu oder völlig verschleißfrei, während Potentiometer-Kohlebahnen sich recht schnell abnutzen und dann durch Aussetzer, Knackern, Kratzen auffallen. Drehimpulsgeber sind nahezu ohne Rücksicht auf Konventionen bei der Leitungsführung von NF-Leitungen auf der Frontplatte platzierbar. Ihre Daten sind direkt und definiert digital auswertbar und schließlich reduzieren sie die nötige Anzahl von Bedienelementen, erlauben so kostengünstigere und einfach bedienbare Lösungen. Und eine Kostenfrage sind die Drehimpulsgeber auch nicht mehr – schon ein guter Taster oder ein hochwertigeres Potentiometer kosten mehr als ein solches Bauteil.

Drehimpulsgeber

Schauen wir uns die Funktionsweise und die Auswertung der Ausgangssignale eines Drehimpulsgebers etwas genauer an. Es sei hier noch erwähnt, dass es zwei verschiedene Arten von Drehimpulsgebern gibt – den hier vorgestellten elektromechanischen Geber, der die Ausgangssignale mithilfe von Schaltkontakten erzeugt, und den optischen Inkrementalgeber, der auf Basis von Lichtschranken mit Lochscheibe arbeitet, und somit praktisch verschleißfrei ist. Der optische Geber wird vorwiegend in der Industrie, z. B. als Positionsgeber, eingesetzt. Aber auch im täglichen Leben ist dieser Geber zu finden, und zwar in der Computermaus (Ausnahme: optische Maus). Hier wird die aktuelle Position bzw. die Bewegungsrichtung mittels zweier kleiner optischer Impulsgeber ermittelt. Einer ist für die X- und der andere für die Y-Position zuständig.

In Abbildung 3 ist die Funktionsweise eines mechanischen Drehimpulsgebers dargestellt. Die Anzahl der Raststellungen (Anzahl der Impulse pro Umdrehung) kann je nach Modell unterschiedlich sein. Bei jeder Drehbewegung, also von einer Rast-

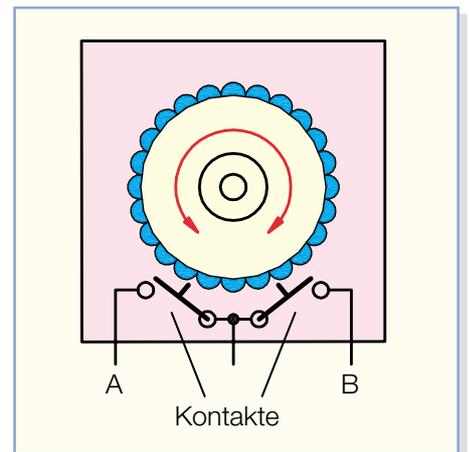


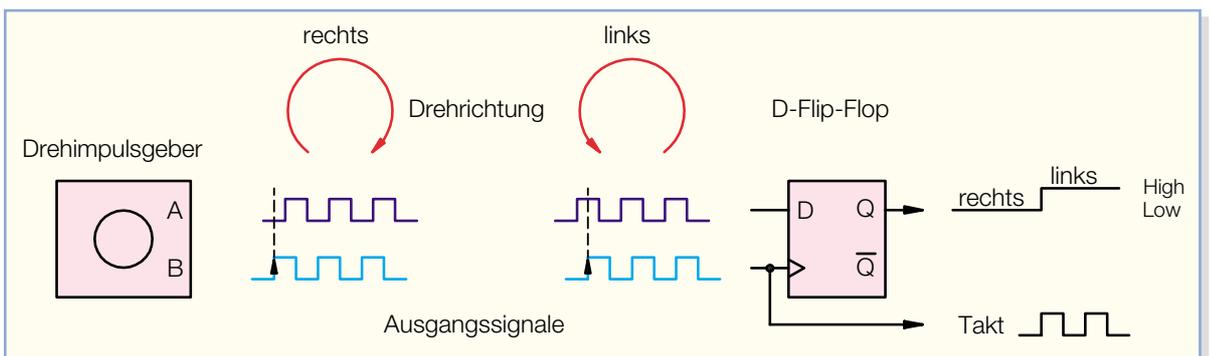
Bild 3: Die Funktionsweise des Drehimpulsgebers

stellung zur nächsten, wird an den Ausgängen A und B jeweils ein Impuls erzeugt (siehe Abbildung 4). Das Besondere daran ist, dass diese Impulse um 90° zeitversetzt sind. Je nach Drehrichtung erscheint zuerst ein Impuls am Ausgang „A“ bzw. an „B“. Hierdurch ist eine Erkennung der Drehrichtung möglich. Die einfachste Methode, um die Drehrichtung zu ermitteln, ist der Einsatz eines D-Flip-Flops. Hierzu werden der Ausgang „B“ mit dem Clock-Eingang und der Ausgang „A“ mit dem D(Daten)-Eingang des Flip-Flops verbunden. Bei jeder Low-High-Flanke (siehe Abbildung 4, gestrichelte Linie) wird der zu dieser Zeit am D-Eingang liegende Logik-Pegel gespeichert und am Q-Ausgang ausgegeben. Wir erhalten also je nach Drehrichtung einen High- bzw. Low-Pegel am Q-Ausgang. In den meisten Geräten erledigt ein Mikrokontroller die weitere Auswertung dieser Signale. In unserer Potentiometer-Schaltung befindet sich die Intelligenz quasi im Spezialschaltkreis für das elektronische Potentiometer.

Schaltung

Das Schaltbild des digitalen Potentiometers ist in Abbildung 5 dargestellt. Die beiden Ausgangssignale des Drehimpulsgebers sind mit „A“ und „B“ gekennzeichnet. Bedingt durch das Prellen der mechanischen Kontakte des Drehimpulsgebers

Bild 4: Ausgangssignale des Drehimpulsgebers und Drehrichtungsdetektion mit einem D-Flip-Flop



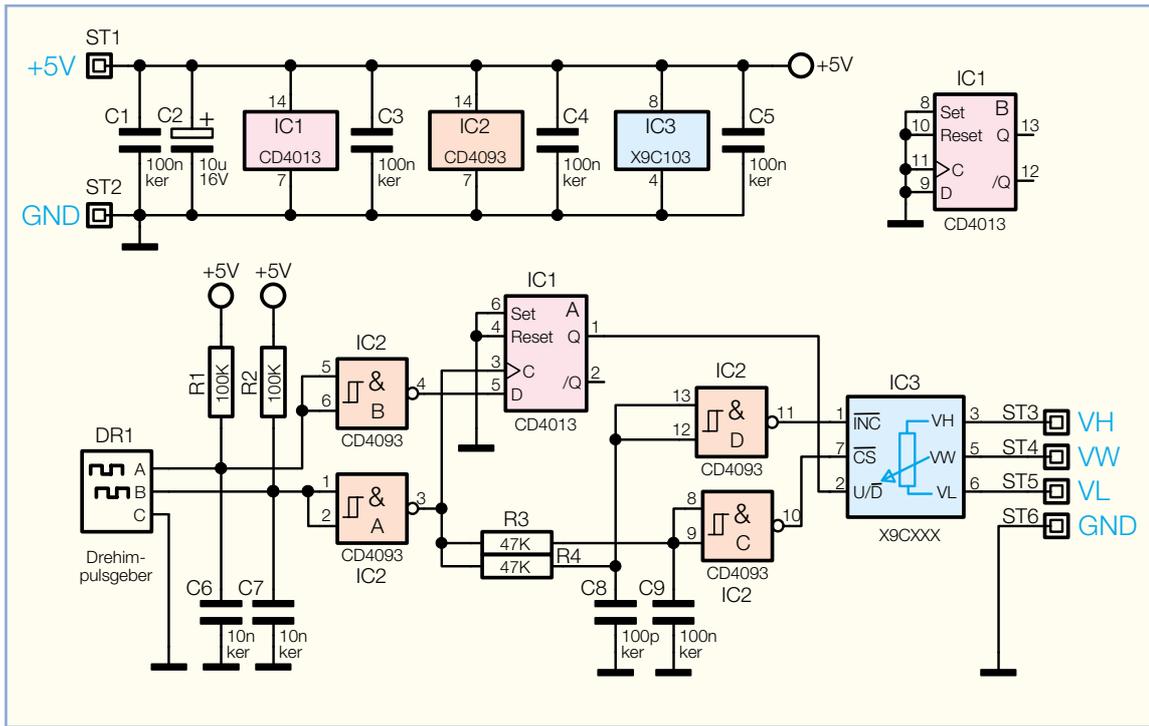


Bild 5: Schaltbild des digitalen Potentiometers

können sehr leicht Störsignale, „Spikes“, entstehen, die zum einen mit einer R/C-Kombination, bestehend aus (R 1/C 6, R 2/C 7) und zum anderen mit einem CMOS-Schmitt-Trigger (IC 2 A und B) unterdrückt werden. Die Funktionsweise des D-Flip-Flops IC 1 wurde ja im vorherigen Abschnitt bereits erklärt.

Der eigentliche Baustein, mit dem ein Potentiometer nachgebildet wird, ist IC 3. Dieses, vom Typ X9Cxxx (xxx steht für den jeweiligen Widerstandswert, siehe technische Daten), sorgt für die Umsetzung der eintreffenden Impulse in 100 analoge Widerstandsstufen – genug auflösend für die normale Einstellung ohne deutlich hörbare Pegelsprünge.

Die prinzipielle Funktion von IC 3 lässt sich gut im Blockschaltbild (Abbildung 6) erkennen. Das Widerstandsnetzwerk be-

steht aus 99 Widerständen, die alle in Reihe geschaltet sind. Jeder der 100 Abgriffe führt zu einem CMOS-Schalter. Der Schleiferkontakt, wie wir ihn vom „normalen“ Poti kennen, wird hier also durch die 100 CMOS-Schalter realisiert. Es kann immer nur ein Schalter geschlossen sein. Gesteuert werden die Schalter von einem 7-Bit-Auf-abwärts-Zähler. Der momentane Zählerstand ist in einem 7-Bit-EEPROM speicherbar. Ein spezieller Befehl löst die Abspeicherung aus (siehe Tabelle 1).

Die gesamte Steuerung von IC 3 erfolgt über die Eingänge \overline{CS} (chip select, Pin 7), INC (increment, Pin 1) und \overline{UD} (up/down, Pin 2).

Der Q-Ausgang (Pin 1) des Flip-Flops IC 1 steuert den Up/Down-Eingang von IC 3. Mit den beiden Gattern IC 2 D und IC 2 C und den vorgeschalteten R/C-Glie-

dern R 3/C 9 und R 4/C 8 wird das Takt-Signal zeitlich so aufbereitet, dass bei jeder Betätigung des Drehimpulsgebers der momentane Zählerstand gespeichert wird (Store Wiper Position).

Zur Spannungsversorgung der Schaltung wird eine stabile Spannung von 5 V benötigt, deren Einspeisung über die Anschlüsse ST 1 (+) und ST 2 (-) erfolgt.

Nachbau

Der Nachbau erfolgt mit bedrahteten Bauteilen auf einer einseitigen Platine. Anhand der Stückliste und des Bestückungsplans beginnen wir die Bestückungsarbeiten mit dem Einsetzen der niedrigen Bauteile (Widerstände) gefolgt von den höheren Bauteilen. Entsprechend dem Rastermaß sind die Bauteilanschlüsse abzuwin-

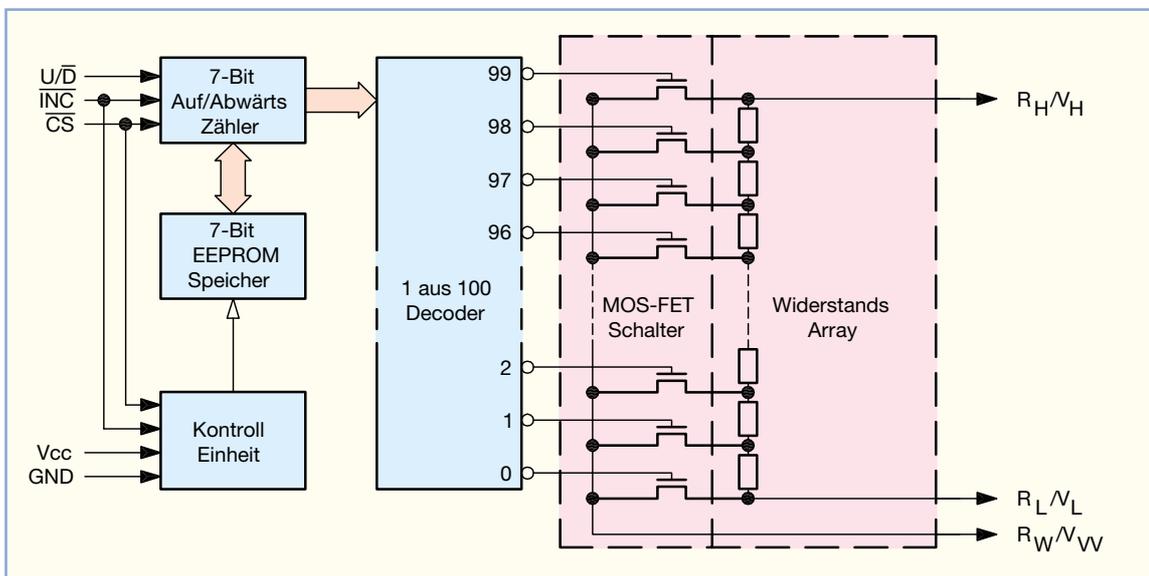
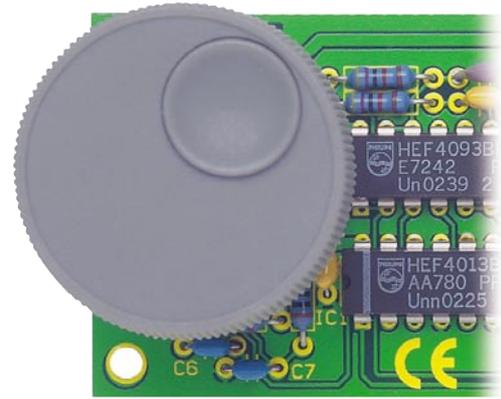


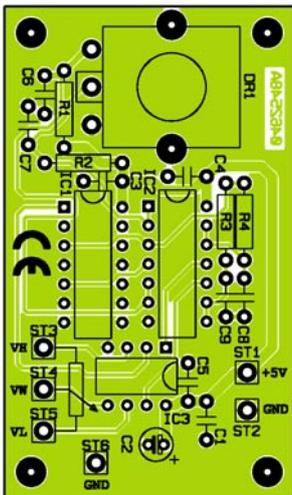
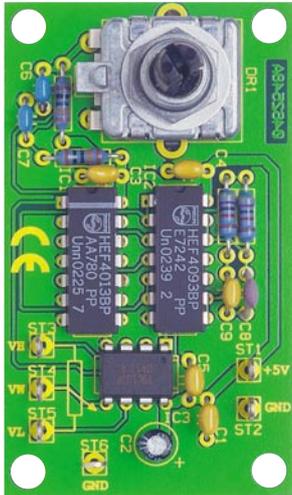
Bild 6: Das Blockschaltbild des X9Cxxx

Tabelle 1: Mode-Selection

CS	INC	U/D	Mode
Low		High	Wiper Up
Low		Low	Wiper Down
	High	X	Store Wiper Position
High	X	X	Standby
	Low	X	No Store, Return to Standby



Die fertige Platine mit aufgestecktem Drehknopf



Ansicht der fertig bestückten Platine des Potentiometers mit zugehörigem Bestückungsplan

dort eingesetzt werden, wo ein elektromechanisches Potentiometer ersetzt werden soll. Es ist auch möglich, das digitale Poti z. B. in einem Rückkopplnetzwerk eines Operationsverstärkers einzusetzen, mit dem dann der Verstärkungsfaktor einstellbar ist.

Es sind unbedingt die technischen Daten der Schaltung zu berücksichtigen, die auch als Maximalwerte anzusehen sind. Vor allem die maximale Eingangsspannung sollte nicht überschritten werden.

Mit den zur Verfügung stehenden Widerstandswerten des X9Cxxx werden zahl-

**Stückliste:
Digitales Potentiometer
mit Drehimpulsgeber DP1**

Widerstände:

- 47kΩ R3, R4
- 100kΩ R1, R2

Kondensatoren:

- 100pF/ker C8
- 10nF/ker C6, C7
- 100nF/ker C1, C3-C5, C9
- 10µF/16V C2

Halbleiter:

- CD4013/Philips IC1
- CD4093/Philips IC2

Sonstiges:

- Inkrementalgeber DR1
- Lötstift mit Lötöse ST1-ST6
- 1 Drehknopf mit Fingermulde

reiche Anwendungsfälle abgedeckt. Bei der Einbindung in die Anwendungsschaltung ist auf die richtige Polarität an den Anschlüssen VH, VW und VL zu achten. Das Spannungspotenzial an VH sollte immer höher (positiver) sein als am Anschluss VL. Der Anschluss VW stellt den „Schleiferkontakt“ des Potis dar.

In Abbildung 7 ist ein einfaches Anwendungsbeispiel dargestellt, bei der eine durch „U_{IN}“ gekennzeichnete Eingangsspannung in der Amplitude eingestellt werden kann. Dabei kann U_{IN} sowohl eine Gleich- als auch eine Wechselspannung sein.

Wichtig! Es muss immer eine Masseverbindung zur „Zielschaltung“ hergestellt werden. Hierzu wird der Anschluss „GND“ (ST 6) mit dem Massepotenzial der anderen Schaltung verbunden. In unserer Beispielschaltung ist deshalb GND mit VL verbunden. Aus Gründen des ESD-Schutzes sollten die Anschlüsse VH, VW und VL im unbeschalteten Zustand nicht berührt werden. **ELV**

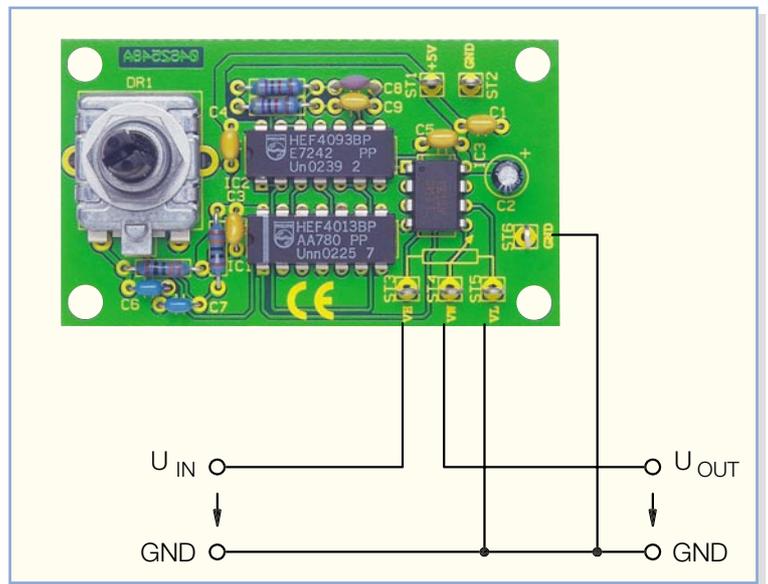
Internet Link:
Datenblatt X9C103
www.xicor.com/pdf_files/x9c103.pdf

keln und anschließend in die dafür vorgesehenen Bohrungen zu stecken. Auf der Platinenunterseite werden die Anschlüsse verlötet und überstehende Drahtenden mit einem Seitenschneider abgeschnitten, ohne dabei die Lötstelle selbst zu beschädigen.

Bei den Halbleitern (ICs) sowie dem Elko C 2 ist unbedingt auf die richtige Einbaulage bzw. Polung zu achten. Zum Schluss sind der Drehimpulsgeber und die Lötstifte einzulöten. Dabei muss das Gehäuse des Drehimpulsgebers plan auf der Platine aufliegen und die Anschlüsse sind mit reichlich Lötzinn zu verlöten.

Praktischer Einsatz

Die Schaltung kann im Prinzip überall



**Bild 7:
Anwendungsbeispiel für den Einsatz der Schaltung**